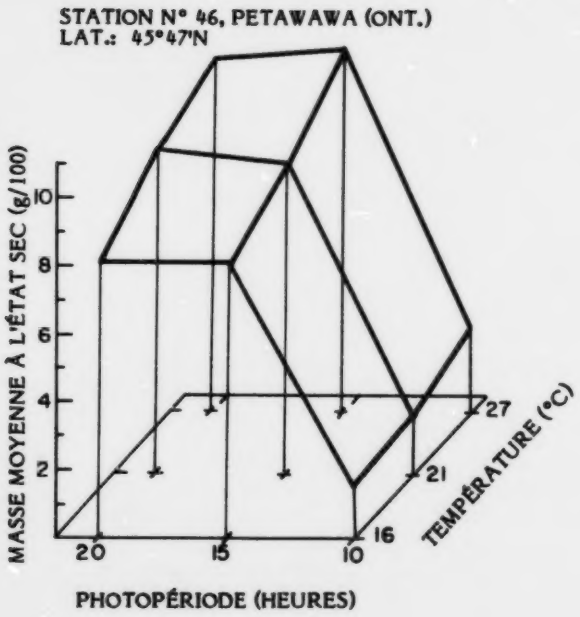
Environnement Canada
Service canadien des forêts

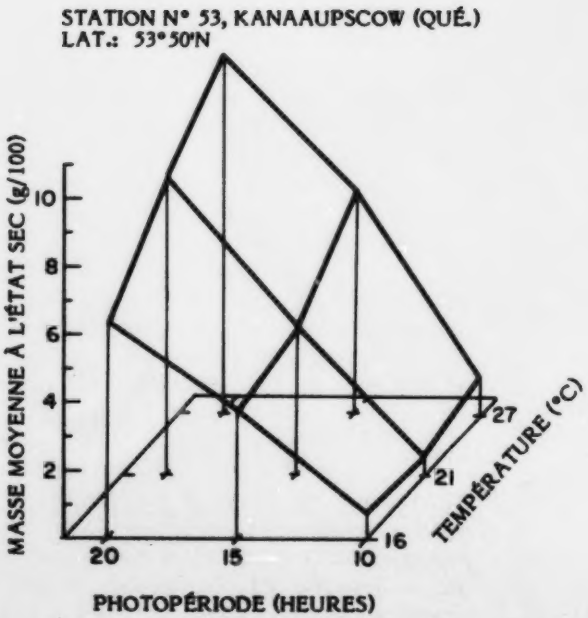
Environment Canada
Canadian Forestry Service

Interactions du génotype, de la station et du traitement sylvicole

E.K. Morgenstern

Rapport d'information PI-X-14F
Institut forestier national de Petawawa





87-01481/

L'INSTITUT FORESTIER NATIONAL DE PETAWAWA

L'Institut forestier national de Petawawa a été formé le 1er avril 1979 par la fusion de la Forêt expérimentale de Petawawa, qui existait depuis plus de 60 ans, et des Instituts d'aménagement forestier et de recherche sur les feux de forêt, installés tous deux à Ottawa.

L'Institut partage avec le reste du Service canadien des forets l'objectif d'améliorer la gestion et l'exploitation des ressources forestières canadiennes pour les bénéfice, économique et social, de tous les Canadiens. En tant qu'institut national, il met l'accent sur les recherches d'intérêt suprarégional ou demandant des compétences spéciales ou un matériel dispendieux non à la portée des établissements régionaux du SCF. Ces recherches sont souvent effectuées en collaboration étroite avec le personnel des centre régionaux et des services provinciaux des forêts.

Elles se répartissent en deux grands domaines:

INCENDIES DE FORÊT ET TÉLÉDÉTECTION. Chaque année, le feu détruit une superficie importante de la forêt productive canadienne. Les recherches portent surtout sur le comportement des incendies, l'élaboration de nouvelles méthodes de lutte, l'évaluation de matériel d'extinction et de retardateurs, et la mise au point de systèmes informatisés de défense contre les incendies, qui trouvent rapidement des applications dans les services d'incendies dans tout le pays. Les conséquences environnementales et économiques des feux de forêt et l'utilisation de feu comme technique sylvicole en foresterie intensive sont également étudiées.

En télédétection, on s'intéresse à l'application des procédés modernes de télédétection spatiale et aérienne aux problèmes forestiers. À cet égard, le système ARIES d'analyse des images numériques se révèle extrêmement précieux.

GESTION INTENSIVE DES FORÊTS. Au fur et à mesure de l'intensification de la gestion des forêts canadiennes pour répondre à la hausse prévue de la demande, les recherches dans ce domaine prendront de plus en plus d'importance. Un approvisionnement sûr en graines de haute qualité des essences voulues sera nécessaire pour une vaste entreprise de reboisement. Des recherches en génétique pour l'amélioration des arbres sont hautement souhaitables. Il faudra examiner attentivement les incidences environnementales de l'utilisation accrue de toute la partie aérienne de l'arbre, ou de la biomasse, ainsi que d'autres formes de gestion intensive. Les méthodes biotechnologiques permettant d'améliorer le rendement tout en maintenant la productivité sont étudiées.

L'Institut dispose pour ses recherches d'un terrain forestier de 98 km^2 se trouvant dans la partie nord de la réserve militaire de Petawawa. Les registres des expériences et des placettes d'échantillonnage sont conservés depuis les années 20. La forêt sert également de laboratoire pour les étudiants des écoles locales, et un centre pour les visiteurs y est ouvert pendant l'été.

Illustration de la page couverture: masse sèche du système foliacé de semis de deux provenances de Pinus banksiana issus de graines de deux sources cultivées pendant trois mois dans des enceintes de culture sous des combinaisons de trois photopériodes et de trois températures differentes démontrant l'interaction provenance-environnement (tiré d'Yeatman 1966).

INTERACTIONS DU GÉNOTYPE, DE LA STATION ET DU TRAITEMENT SYLVICOLE

Rapport d'information PI-X-14(F)

E.K. Morgenstern

Institut forestier national de Petawawa
Service canadien des forêts
Ministère de l'Environnement
1983

©Ministre des Approvisionnements et Services Canada 1983
N° de catalogue Fo46-11/14-1983F
ISSN 0228-0736
ISBN 0-662-92011-2

Des exemplaires de cette publication peuvent être obtenus à l'adresse suivante:

Centre de distribution des publications
Institut forestier national de Petawawa
Environnement Canada
Chalk River (Ontario)
K0J 1J0

This publication is also available in English under the title Interactions between genotype, site and silvicultural treatment.

Table des matières

i	Résumé/Abstract
1	Introduction
1	Principes de l'analyse des interactions
1	Modèle statistique
2	Plan expérimental
2	Interprétation des résultats
3	Résultats pour divers traits
2	Croissance juvénile et phénologie à l'état
3	Couleur et morphologie
4	Survie et rusticité
4	Besoins en éléments nutritifs
4	Vulnérabilité envers les insectes et les maladies
13	Croissance et production
13	Clones
13	Descendances
13	Croisements entre variétés et populations introgressives
13	Provenances
14	Réaction au traitement sylvicole: espacement
14	Conclusions
15	Références

Tableaux

2	1. Analyse de la variance et carrés moyens prévus pour diverses provenances testées à deux endroits ou plus
5	2. Exemples d'interactions tirés d'expériences génétiques et sylvicoles

Résumé

Les interactions de différents facteurs au cours d'expériences génétiques et sylvicoles ont été étudiées; ces interactions, lorsqu'elles sont significatives, impliquent que les traitements ne sont pas indépendants. Les résultats provenant de 38 différentes études relatives à 21 espèces des genres Alnus, Larix, Picea, Pinus, Populus, Pseudotsuga et Quercus ont servis de fondement à la présente analyse. Les traits considérés furent la croissance et les variations phénologiques des jeunes arbres, la couleur et la morphologie, la survie et la rusticité, les besoins en éléments nutritifs, la vulnérabilité aux insectes et aux maladies, la croissance et la production ainsi que l'espacement. L'interprétation des résultats dépend de l'appréciation des variations génétiques à l'intérieur d'une espèce ainsi que des difficultés d'échantillonnage et d'essai propres à chaque expérience. Parmi les facteurs évidents qui sous-tendent les interactions, il y a les différences de climat et de sol entre le lieu d'origine des graines et le lieu d'expérimentation, et les différences d'effet de tampon génétique entre chaque population d'essai. Certaines interactions n'ont pu être interprétées. Cependant, en appliquant des modes d'analyse spéciaux et en portant une attention plus grande aux différents milieux, un plus grand nombre de ces cas difficiles pourraient être interprétés au cours d'expériences futures.

Abstract

Interactions are considered from the viewpoint of factorial experiments in genetics and silviculture where significant interactions imply that treatments are not independent. This review is based on 38 experiments dealing with 21 species in the genera Alnus, Larix, Picea, Pinus, Populus, Pseudotsuga, and Quercus. Traits considered are: juvenile growth and phenology, color and morphology, survival and hardiness, nutrient requirements, insect and disease susceptibility, growth and yield, and spacing. Interpretation of the results depends upon an appreciation of genetic variation within the species and the particular problems of sampling and testing in each experiment. Some of the obvious factors that underlie interactions are climatic and soil differences between seed origin and test habitat and differences in genetic buffering between test populations. There are interactions that have defied interpretation but the application of special analyses and closer attention to environments should make it possible to interpret more of these difficult cases in future years.

INTERACTIONS DU GÉNOTYPE, DE LA STATION ET DU TRAITEMENT SYLVICOLE

INTRODUCTION

Les interactions du génotype, de la station et du traitement sylvicole peuvent prendre de nombreuses formes et toucher de nombreux organismes. Dans son sens général, "interaction" signifie "influence réciproque" et peut comprendre la concurrence entre génotypes, les interactions des génotype avec des facteurs stationnels, des agents biotiques, ainsi que des traitements sylvicoles. Dans un sens plus spécifique, les interactions génotype-station et génotype-traitement ont une signification statistique. C'est sur cet aspect que porte le présent article.

L'interaction génotype-environnement revêt une importance mondiale car elle intervient dans toutes les forêts en voie de repeuplement ou d'établissement. Dans la régénération des espèces indigènes, elle influe sur la délimitation des zones de semences afin de limiter le transfert géographique des semences de leurs lieux du site d'origine au milieu de plantation (Campbell 1974). Dans les efforts de reboisement avec des espèces exotiques, elle doit être prise en compte afin d'optimiser le choix de la provenance (Burley et Nikles 1972, Burley et Kemp 1972). Dans tous les programmes d'amélioration génétique, elle complique la sélection et le contrôle en plus de limiter le gain génétique. Les nombreux problèmes qu'elle pose ont suscité beaucoup de recherches spécialement dans le domaine de la biometrie. (V. les études de Shelbourne (1972) et de Shelbourne et Campbell (1976)). Néanmoins, il est évident qu'en sylviculture et en amélioration génétique des arber, les expériences comportant des plans expérimentaux efficaces avec recours à l'analyse des interactions n'ont pas un long passé et on ne dispose pas encore de résultats pour de nombreuses régions du monde.

L'intérêt relativement nouveau pour ces interactions est une raison suffisante pour examiner leur importance. Nous traiterons donc dans le présent article des effets des interactions en sylviculture et en amélioration génétique des arber. Nous insisterons sur les caractères ou traits des arbres qui ont une importance économique, et non sur des problèmes biométriques. Nous tirerons également quelques conclusions générales concernant l'interprétation des interactions.

E.K. Morgenstern est professeur de génétique forestière à la Section des ressources forestières de l'université du Nouveau-Brunswick (Fredericton, N.-B., E3B 5A3). Il a déjà travaillé pour le Service canadien des forêts à l'Institut forestier national de Petawawa de Chalk River (Ontario). Le présent article a été préparé pour le huitième congrès mondial de foresterie qui a eu lieu à Djakarta en Indonésie du 16 au 28 octobre 1978.

PRINCIPES DE L'ANALYSE DES INTERACTIONS

Modèle statistique

Sir R.A. Fisher, qui a créé l'analyse de la variance au début des années 20 à la station expérimentale de Rothamsted en Angleterre, a souligné les avantages des expériences factorielles: elles permettent de tester simultanément plusieurs facteurs et leurs interactions (Fisher 1951).

Prenons à titre d'exemple l'analyse d'un groupe d'expériences conduites avec du provenances (ou génotypes) répétées à un certain nombre d'endroits (Stern 1967). L'analyse de la variance est présentée au tableau 1.

Une valeur de F significative pour l'interaction provenance-station signifie que les deux facteurs ne sont pas

indépendants l'un par rapport à l'autre. Il peut y avoir interaction lorsque le classement des diverses sources à des emplacements différents est différent, ou que leur supériorité relative n'est pas la même, même si les rangs sont les mêmes (Steel et Torrie 1960).

cherchant à éviter ou à éliminer les facteurs gênants (effets des pépinières, chocs dus à la transplantation, dommages causés par les insectes et les maladies, etc.). Bref, toutes les règles de conception des études de provenances (ou tests de descendance) s'appliquent (Dudley et

Tableau 1. Analyse de la variance et carrés moyens prévus pour diverses sources de graines testées à deux endroits ou plus

Source de variation	Degrés de liberté	Carrés moyens prévus
Répétitions aux divers emplacements	$l\,(r-1)$	$\sigma_e^2 + s\sigma_{r/l}^2$
Provenances	$s-1$	$\sigma_e^2 + r\sigma_{sl}^2 + rl\sigma_s^2$
Emplacements	$l-1$	$\sigma_e^2 + r\sigma_{sl}^2 + rs\sigma_l^2$
Interactions provenances-emplacements	$(s-1)\,(l-1)$	$\sigma_e^2 + r\sigma_{sl}^2$
Erreur combinée	$l\,(s-1)\,(r-1)$	σ_e^2

r - nombre de répétitions à chaque emplacement.
s - numbre de provenances.
l - numbre d'emplacements.
On suppose qu'il y a orthogonalité.

Plan expérimental

Pour que l'expérience soit valable et que l'interprétation des résultats ait une portée partique, il est essentiel de bien étudier l'échantillonnage et les tests. L'échantillonnage doit inclure les provenances de la partie de l'aire de l'espèce considérée comme convenant à la région d'essai. On doit grouper ou classer les emplacements d'essai dans cette région selon des paramètres écologiques, puis répartir les expériences particulières entre eux. On doit prévoir pour ces expériences des répétitions suffisantes, des parcelles de taille et de forme appropriées, et tenir compte des dimensions prévues des arbres, des besoins d'espace et de la durée de la période d'observations. On doit établir les dispositifs expérimentaux et effectuer les mesures en

Moll 1969, Morgenstern 1972, Wright 1976). De plus, on doit recourir à des modèles statistiques appropriés pour l'analyse des résultats et transformer les données s'il y a lieu (Campbell et Wilson 1973, Hattemer 1965).

Interprétation des résultats

L'interprétation doit toujours tenir compte des conditions particulières dans chaque série de tests. Voici des exemples du genre de questions que le chercheur doit se poser (Squillace 1970, Wright 1973, 1976):

Échantillonnage et essai. Les conditions mentionnées dans le section précédente ont-elles été observées? Dans le cas contraire, quelles restrictions doivent être apportées lors de l'interprétation?

Effets principaux. Dans toutes les expériences, l'intérêt premier est accordé aux effets principaux (p. ex., provenances et emplacements). Même lorsque les interactions sont statistiquement significatives, il est possible que certaines provenances aient bien poussé à tous ou presque tous les emplacements. Ces provenances stables peuvent alors être choisies. L'interaction est, dans un tel cas, d'importance secondaire (Matheson 1974).

Interactions. Lorsque les interactions sont telles que la sélection est sérieusement compliquée, il peut être nécessaire de les analyser plus à fond. On peut envisager:

a) de faire la partition des variances d'interaction en calculant la contribution des provenances ou des milieux d'expérience. Cela pourra comporter des analyses de stabilité au moyen d'analyses de la variance et de la régression (Wricke 1965, Eberhart et Russell 1966, Schnell 1967, Baker 1969, Utz 1972, Weiling 1973) et des analyses à plusieurs variables (Freeman 1973).
b) de comparer les conditions écologiques des milieux d'origine des semences avec celles des milieux d'expérimentation, entre autres les facteurs climatiques et pédologiques (Morgenstern et Teich 1969, Burdon 1971, Eiche et Andersson 1974).

En général, une connaissance des modes de la variation génétique est essentielle à l'interprétation des résultats.

RÉSULTATS POUR DIVERS TRAITS

Des exemples d'interactions génotype-environnement tirés de 38 expériences sont présentés de façon succinte par série de traits au tableau 2. C'est une façon commode d'aborder la question des interactions dans une discussion, mais il est évident que dans la réalité, lorsqu'il s'agit de la selection des provenances par exemple, plusieurs traits doivent être considérés simultanément. Les lecteurs intéressés d'en savoir plus devraient consulter les publications originales.

Croissance juvénile et phénologie

Dans une série d'expériences en milieux contrôlés portant sur Pinus banksiana, Yeatman (1966) a démontre que de nombreuses interactions provenance-photo-période intervenaient dans la croissance des semis. Il existait également des interactions provenance-température et provenance-intensité lumineuse mais elles n'étaient pas aussi fortes. Les analyses statistique fuent conduites à l'aide de la régression et d'une méthode multivariée (l'analyse canonique). La même série d'expériences a été soumise à l'analyse de la variance, et des résultats similaires ont été fournis par Mergen et al. (1967).

Dans une autre étude, Mergen et al. (1974) ont trouvé des interactions significatives provenance-température en ce qui concerne la masse à l'état sec et à l'état frais, la hauteur, et la fréquence des bourgeons terminaux chez Pinus banksiana, Pinus sylvestris, Picea glauca et Picea sitchensis. La plupart des interactions pouvaient être interprétées comme étant dues à la contribution différente des provenances de diverses regions de l'aire de chaque espèce. Les provenances du centre de l'aire étaient plus stables que celles des regions extrêmes.

Dans les pépinières de production, les interactions des génotypes ou des provenances avec l'environnement ne sont ordinairement pas examinées. Ces interactions sont toutefois importantes en sylviculture, car la différentiation physiologiques des provenances qui se produit dans les grandes pépienières desservant plusieurs régions écologiques distincte, peut affecter à la fois la servie et la croissance initiale des plants une fois sur le terrain (Morgenstern 1976). Chez Pinus sylvestris, Brown (1969) a observé des interactions époque-provenance importantes époque-source en ce qui concerne la survie après le cernage, l'extraction et la transplantation.

Couleur et morphologie

Les traits morphologiques sont ordinairement moins conditionnés par l'environne-

ment que les traits de croissance. On pourrait donc s'attendre à de plus faibles interactions génotype-environnement. Cette supposition est corroborée par les travaux de King (1965a, b) sur Pinus sylvestris. Les interactions relatives à la longueur et a la couleur des aiguilles étaient plus faibles que celles relatives à la hauteur mais étaient quand même significatives. L'analyse de la rectitude et du développement en fourche de la tige chez Pinus nigra Arnold (Wilcox et Miller 1975) a démontré que les interactions étaient faibles, et les chercheurs ont conclu que les graines des meilleures sources pouvaient pousser partout en Nouvelle-Zélande.

Survie et rusticité

Ces deux traits ont une grande importance aux endroits où les conditions de croissance sont peu favorables comme aux hautes latitudes et altitudes ou en terrains secs dans les régions tropicales et subtropicales (Kemp 1973). Eiche et Andersson (1974) ont mis en évidence de fortes interactions chez Pinus sylvestris dans le nord de la Suède. La mortalité cumulée sur une période de 20 ans était élevée. Les zones de semences ou zones de plantation doivent donc être peu étendues. Les auteurs ont indiqué que seules les provenances du même comté pouvaient être employées. Un rapport préliminaire sur la survie et la hauteur à six ans de Pinus contorta à 13 stations au nord de la latitude de 60° en Suède a indiqué de très faibles interactions provenance-station. Toutefois, cette situation pourrait changer au cours des prochaines années (Lindgren et al. 1976). Une étude des croisements entre variétés de Pseudotsuga menziesii dans deux pépinières de l'Idaho (États-Unis) a révélé des interactions significatives pour le forme et les dommages causés par le gel, même chez des arbres de quatre ans (Rehfeldt 1977).

Le problème du zonege des semences du point de vue des interactions génotype-environnement a été traité de façon détaillée par Campbell (1974), et Shelbourne et Campbell (1976).

Besoins en éléments nutritifs

On s'était rendu compte depuis un certain temps de l'importance des éléments nutritifs dans la différenciation des provenances et de la possibilité de l'existence d'écotypes pédologiques, mais jusqu'à récemment, il existait de très peu données expérimentales (Stern et Roche 1974). Une étude sur Picea glauca a révélé des interactions hautement significatives entre les provenances et les sites de plantation. L'interprétation offerte est que les lieux d'origine des provenances et les stations d'étude différaient quant à la teneur en calcium du sol. Les provenances originant de sols calcaires pourraient mieux aux stations d'étude à sols calcaires, et celles provenant de sols acides, aux stations acides (Teich et Holst 1974). Des carences en phosphore (P) ont également donné lieu à des interactions marquées chez Pinus radiata. Certains clones de cette espèce ne tolèrent pas de telles carences et forment des tiges et branches anormales (Burdon 1971). Zobel et Roberds (1970) ont indiqué que les interactions des éléments nutritifs au niveau des descendances étaient plus nombreuses que prévues. Squillace (1970) a cité de nombreuses interactions reliées aux effets des engrais.

Vulnérabilité envers les insectes et les maladies

Hattemer (1965) a trouvé des interactions significatives provenance-station et provenance-année chez des pins (Pinus sylvestris) atteints du rouge causé par le champignon Lophodermium pinastri. Gansel et al. (1971) ont mis en évidence de fortes interactions provenance-station chez des pins (Pinus elliottii) atteints de la rouille-tumeur causée par Cronartium fusiforme. Dans les deux cas, l'interprétation des résultats était difficile et probablement compliquée par la présence de plusieurs races physiologiques du champignon. Toutefois, Hattemer (1965) a réussi à subdiviser les provenances en quatre groupes géographiques en fonction de leur vulnérabilité moyenne et de leur contribution moyenne à l'interaction. Aucune

Tableau 2. Exemples d'interactions tirés d'expériences génétiques et sylvicoles

Espèce	Matériel et conditions expérimentales, traits examinés	Résultats et conclusions	Auteurs
	A. Croissance et phénologie à l'état juvénile		
Pinus banksiana Lamb.	De 50 à 87 provenance de tout le domaine, testées dans neuf environnements contrôlés sous 3 photo-périodes et 3 températures, ainsi qu'en serre et en pépinière; masse à l'état frais et à l'état sec des systèmes foliacés et racinaires, longueur des tiges, phénologie, résistance au froid et autres caractères; 2 à 12 mois après l'ensemencement.	Interactions significatives de la provenance avec la photo-période, la température et l'intensité lumineuse.	Yeatman, 1966 Mergen et al. 1967.
Pinus banksiana Pinus sylvestris L. Picea glauca (Moench) Voss Picea sitchensis	47 provenances (11 ou 12 de chaque espèce) testées en enceintes de culture; 6 températures; masse à l'état frais et à l'état sec, hauteur, et fréquence des bourgeons teminaux; 3 mois après l'ensemencement.	La plupart des interactions température-provenance étaient significatives. Les provenances du centre des aires contribuaient ordinairement e moins à l'interaction.	Mergen et al. 1974.
Pinus sylvestris	5 provenances dans un gradient S-N en Europe, sélection en pépinière 1 mois après la germination, élagage des racines et analyse à intervalles mensuels; survie et caractéristiques des racines au cours de la première année.	Interactions significatives temps-source pour la survie.	Brown 1969.
	B. Couleur et morphologie		
Pinus sylvestris	De 50 à 100 provenances dans tout le domaine, testées à 8 stations en Illinois et au Michigan; longueur des aiguilles, couleur, hauteur à 4-5 ans.	Interactions significatives station-provenance pour la hauteur; interactions également significatives mais beaucoup plus faibles pour la longueur des aiguilles et la couleur.	King 1965a, 1965b.

Tableau 2. àsuivre

Espèce	Matériel et conditions expérimentales, traits examinés	Résultats et conclusions	Auteurs
Pinus nigra Arnold	43 provenances testées à 6 stations en Nouvelle-Zélande; volume, diamètre, hauteur, rectitude et développement en fourche à 19 et 20 ans.	Interactions provenance-station considérées comme faussées vu l'emploi de parcelles uniques à certains emplacements; peu de changements de rang.	Wilcox et Miller 1975.
	C. Survie et rusticité		
Pinus sylvestris	100 provenances de Suède, d'Allemagne et de Hollande testées à 6 stations dans le nord de la Suède; survie et hauteur de 1 à 19 ans après la plantation.	Interactions non analysées de façon classique, mais paraissant fortes.	Eiche et Andersson 1974.
Pinus contorta Dougl.	83 provenances de toute l'aire, testées à 39 stations au nord de 60° en Suède; mortalité et hauteur à 6 ans.	Interactions non examinées de façon détaillée à ce stade précoce mais ne paraissant pas fortes.	Lindgren et al. 1976.
Pseudotsuga menziesii (Mirb.) Franco	103 fratries issues de croisements entre variétés et lignées dans deux pépinières; croissance, phénologie, rusticité à 4 ans.	Les interactions pépinière-famille étaient significatives seulement pour la forme des arbres, et les dommages dus aux gelées.	Rehfeldt 1977.
	D. Besoins en éléments nutritifs		
Picea glauca	12 provenances de l'Ontario et du Michigan; un test à une station granitique et un autre à une station calcaire à moins de 50 km l'une de l'autre en Ontario; hauteur, 15 ans.	Interaction significative provenance-station. Encourage à employer des provenances à origine granitique sur terrain grantitique et à origine calcaire sur terrain calcaire.	Teich et Holst 1974.

Tableau 2. àsuivre

Espèce	Matériel et conditions expérimentales, traits examinés	Résultats et conclusions	Auteurs
Pinus radiata D. Don	Boutures de 18 clones plantées à 4 stations en Nouvelle-Zélande; hauteur, diamètre et caractéristiques de la tige 12 ans après l'implantation.	Interactions marquées clone-station pour la fréquence de ramifications et la rectitude de la tige qui étaient reliées à une carence en phosphore. La tolérance face à la carence semble spécifique au clone.	Burdon 1971.
	E. Vulnérabilité envers les insectes et les maladies		
Pinus sylvestris	20 provenances de la partie occidentale de l'aire, testées à 10 emplacements en Allemagne; infection par le rouge dû à Lophodermium pinastri (Schrad.) Chev.; âge: 2 à 4 ans.	Interactions significatives de la provenance avec la station et l'année.	Hattemer 1965.
Pinus elliotti: var. elliottii Engelm.	54 provenances de tout le domaine; 4 stations en Floride, en Georgie et au Mississippi; survie, hauteur, diamètre, production de gomme et infection par le rouille-tumeur due à Cronartium fusiforme Hedge. Hunt ex Cumm.	Interactions significatives provenance-station pour la hauteur et la rouille-tumeur, mais mode d'interaction de la rouille non évident.	Gansel et al. 1971.
Pinus banksiana	26 provenances du Minnesota, du Wisconsin et du Michigan testées à 11 stations dans ces États; infestation par le charançon du pin blanc (Pissodes strobi Peck) et le perce-pousse du pin (Eucosma gloriola Heinrich) et rouille-tumeur due à Cronartium quercum (Berk) Miyabe ex Shirai, âges: 7 ou 12 ans.	Interactions significatives provenance-station dans les trois cas. Répercussions globales faibles cependant.	King 1971.

Tableau 2. àsuivre

Espèce	Matériel et conditions expérimentales, traits examinés	Résultats et conclusions	Auteurs
	F. Croissance et production:	**i) Clones**	
Hybrides de Populus	16 clones d'hybrides à 13 stations en Allemagne; hauteur à 4 ans.	Signification de l'interaction clone-station non déterminée, mais composante de la variance d'importance à peu près égale à la composante clonale.	Hattemer et al. 1964.
Populus deltoides Bartr.	50 clones à 3 stations en Illinois; hauteur et diamètre à 1-5 ans.	Interactions significatives clone-station. Clones du Mississippi poussant mieux que ceux de l'Illinois.	Randall, 1973.
Populus deltoides	25 clones dans 6 plantations au Mississippi (2 stations x 3 ans); hauteur, diamètre et nombre de branches, 1 à 3 ans.	Interactions faibles clone-année et élevées clone-station.	Mohn et Randall, 1973.
Picea abies Karst.	51 clones provenant de plusieurs altitudes en Autriche testés à 4 stations: 850 m, 1250 m, 1600 m et 1900 m; boutures à l'âge de 4 ans; hauteur, et dates de début et d'arrêt de croissance.	Les interactions clone-station semblent faibles (non analysées de façon classique).	Lechner et al., 1977.
		ii) Descendances	
Pinus elliottii var. elliottii Engelm.	De 6 à 10 descendances testées à 3 stations en Georgie; hauteur, infection par la rouille-tumeur à Cronartium fusiforme, rapport largeur/hauteur de la cime, 5 ans après la plantation.	Interactions significatives pour la hauteur et le rapport largeur/hauteur seulement.	Kraus 1970.

Tableau 2. àsuivre

Espèce	Matériel et conditions expérimentales, traits examinés	Résultats et conclusions	Auteurs
Pinus patula Schiede & Deppe	De nombreuses descendances issues de croisements contrôlés à 4 stations dans l'est de la Rhodésie; environ 30 traits reliés à la croissance, à la tige et à la morphologie des branches; mesures 1 1/2 an après la plantation.	Peu d'interactions significatives. Les interactions ne sont pas importantes dans le programme de sélection.	Barnes 1973.
Pinus radiata	28 descendances à 3 stations à Victoria, en Australie; hauteur à 7 ans.	Interactions descendance-station significatives et ayant une influence sur la stratégie de sélection.	Pederick 1972.
Picea mariana (Mill.) B.S.P.	28 descendances locales en Ontario; une station sèche et une humide en pépinière; hauteur, 4 ans.	Interactions significatives descendance-station. Sélection d'après la station non efficace.	Morgenstern 1973, 1974.
Pinus banksiana	100 descendances de plusieurs peuplements de la vallée de l'Outaouais, en Ontario; 3 stations dans un rayon de 50 km; hauteur à 6 ans.	Interactions non significatives de la station avec la descendance et avec le peuplement. La sélection pourrait être fondée sur des tests à un seul emplacement.	Yeatman 1974.
Pinus virginiana Mill.	138 descendances provenant de 13 peuplements du Kentucky et du Tennessee testées à 5 stations au Tennessee et en Alabama; production en volume 5 ans après la plantation.	Les interactions des descendances et des peuplements avec les stations étaient significatives mais constituaient moins de 1% de la variance totale.	Rink et Thor 1976.
Picea glauca	42 descendances locales à 3 stations éloignées de moins de 16 km en Ontario; hauteur, 10 ans.	Interactions descendance-station non significatives. Plan expérimental non satisfaisant.	Dhir 1975.

Tableau 2. àsuivre

Espèce	Matériel et conditions expérimentales, traits examinés	Résultats et conclusions	Auteurs
Alnus glutinosa L. Gaertn.	16 descendances issues de croisements contrôlés à 4 stations en Saxe (Allemagne); hauteur à 4 ans.	Interactions descendance-station significatives.	Thomasius 1967.
Alnus glutinosa	33 descendances issues de croisements contrôlés, de la pollinisation libre et de l'autopollinisation à 4 stations en Hesse (Allemagne); hauteur à 7 ans.	Interaction descendance-station significative.	Weissgerber 1974.
	iii) Croisements entre variétés et populations introgressives		
Picea rubens Sarg. et hybrides naturels avec Picea mariana	12 provenances de graines de tout le domaine; 3 tests sur le terrain dans un rayon de 160 km en Ontario survie et hauteur, 12 ans.	Changements de rang limités et composant de la variance d'interaction faible.	Morgenstern 1969.
Picea rubens et hybrides naturels avec Picea mariana	15 provenances dans toute l'aire; 3 tests sur le terrain dans un rayon de 160 km au Québec; hauteur, 13 ans.	Interaction provenance-environnement non significative.	Roche 1969.
Pinus monticola Dougl.	31 descendances y compris des croisements entre variétés à 2 stations dans l'Idaho; hauteur à 9 et 14 ans.	Interactions descendance-station significatives seulement à 9 ans et interprétées comme étant négligeables.	Rehfeldt et Steinhoff 1970.
	iv) Sources		
Larix leptolepis Gordon	25 provenances à 13 stations en Allemagne; huateur diamètre et mortalité; âges: 3 à 9 ans.	Interactions source-station importantes, considérées comme le résultat de la différence importante entre l'environnement d'origine et l'environnement de culture.	Hattemer 1969.

Tableau 2. àsuivre

Espèce	Matériel et conditions expérimentales, traits examinés	Résultats et conclusions	Auteurs
Picea abies	16 provenances de la partie occidentale du domaine 3 tests sur le terrain dans l'est de la France, latitude de 43 à 48° N, altitude de 1000 à 1600 m; phénologie et hauteur, 2 à 12 ans.	Des changements de rang impliquent une interaction provenance-station pour la hauteur.	Lacaze 1970.
Picea abies	36 sources de l'étude de 1938 de l'Union internationale des instituts de recherches forestières à 25 stations en Europe et en Amérique du Nord; hauteur, 12 à 30 ans.	Interactions non estimées quantitativement mais évidentes, dues plus spécialement à la différenciation des provenances aux stations du nord et du sud.	Giertych 1976.
Picea glauca	29 provenances de tout le domaine; 14 stations du Dakota du Nord (U.S.A.) au Nouveau-Brunswick (Canada); hauteur, 9 ans.	Interaction provenance-station significative, mais peu de changements de rang pour les meilleures sources.	Nienstaedt 1969.
Pinus banksiana	16 provenances de graines du Minnesota, du Wisconsin, du Michigan à 12 emplacements dans ces États et en Ontario; hauteur, 12 ans.	Les contributions des diverses sources à l'interaction dépendent de la distance entre l'emplacement d'origine et la station.	Morgenstern et Teich 1969 (s'appuyant partiellement sur les données de King 1966).
Pinus taeda L. et Pinus echinata Mill.	Plusieurs séries d'expériences établies dans tout le sud-est des États-Unis; hauteur, 10 ou 15 ans.	Interaction provenance-station attribuable à une performance différente des provenances aux stations du nord et du sud.	Wells 1969.

Tableau 2. àsuivre

Espèce	Matériel et conditions expérimentales, traits examinés	Résultats et conclusions	Auteurs
Quercus rubra L.	4 provenances provenant d'altitudes différentes en Caroline du Nord, graines ensemencées à 4 stations dans la même région; hauteur et phénologie au cours de la deuxième année.	Interaction provenance-station très faible et probablement non significative (non analysée de façon classique).	McGee 1974.
	G. Réaction au traitement sylvicole: espacement		
Pinus sylvestris	55 provenances du centre-est de l'Europe; une station d'essai avec répétition dans le nord-ouest de l'Allemagne, à 2 espacements (0,3 x 0,3 m et 1,0 x 1,0 m); survie, hauteur, diamètre, forme de la tige et ramifications à 16 ans.	Interaction provenance-espacement significative seulement pour la survie.	Mathieu 1967.
Pseudotsuga menziesii	30 descendances issues de croisements contrôlés dans 1 test en pépinière dans l'Oregon, espacements de 2,5, 7,5, 12,5 et 17,5 cm avec 5 répétitions; hauteur, et diamètre au collet à 3 ans; les résultats ont été comparés aux mesures effectuées sur des arbres de 43 ans.	Après la transformation des données, les interactions descendance-espacement n'étaient pas significatives. Les rangs n'ont pas été modifiés mais la survie différait.	Campbell et Wilson 1973.

tendance géographique n'était évidente chez Pinus elliottii, mais une différence du pouvoir pathogène de plusieurs races du champignon a par la suite été confirmée (Snow et al. 1975). On a également observé des interactions significatives provenance-station en ce qui concerne la fréquence de la rouille-tumeur causée par Cronartium quercum chez Pinus banksiana (King 1971).

King a également étudié la vulnérabilité à l'égard de deux insectes: le charançon du pin blanc (Pissodes strobi) et le perce-pousse du pin (Eucosma gloriola). Il a observé des interactions significatives provenance-station pour les deux insectes mais ne les a pas étudiées en détail (King 1971).

Croissance et production

L'une des exigences pour que la croissance et la production soient bonnes est l'adaptabilité générale des populations testées. L'adaptabilité augmente ordinairement en fonction de la diversité génétique (Allard 1964, Fejer 1967). Il peut donc être profitable de traiter des interactions influant sur la croissance et la production à des niveaux particuliers de diversité génétique: clones, descendances, croisements entre variétés et provenances.

Clones. Comme tous les membres d'un clone sont génétiquement uniformes, les variations entre les clones sont des plus simples. À une exception près, les tests clonaux mentionnés au tableau 2 ont révélé de fortes interactions. Chez Pinus radiata, des interactions significatives clone-station ont été mises en évidence pour la hauteur et le diamètre et elles semblaient étroitement reliées à une réaction particulière des clones au phosphore dont il a été question précédemment (Burdon 1971). Des interactions notables clone-station ont également été observées chez des hybrides de Populus (Hattemer et al. 1964) et chez Populus deltoides (Mohn et Randall 1973, Randall 1973). Le test clonal sur Picea abies examiné par Lechner et al. (1977) n'a pas été soumis à une analyse de la variance, mais d'après les illustrations, les interactions, s'il y en avait, devaient être faibles. L'explication pourrait être une origine étroitement limitée en altitude.

Descendances (obtenues par pollinisation libre ou contrôlée) C'est le niveau le plus élevé de variation après celui des clones, étant moins uniformes et peut-être plus fortement "tamponnées" pour faire face aux variations environnementales. Toutefois, de nombreux tests dans cette catégorie ont révélé des interactions significatives avec la station, soit les tests portant sur Alnus glutinosa (Thomasius 1967, Weissgerber 1974), Pinus elliottii (Kraus 1970), Pinus radiata (Pederick 1972) et Picea mariana (Morgenstern 1973, 1974). Par ailleurs, des tests portant sur Pinus banksiana (Yeatman 1974), Picea glauca (Dhir 1975) et Pinus virginiana (Rink et Thor 1976) ont indiqué des interactions non significatives. Il semble que les tests portant sur les deux dernières espèces ont été réalisés de façon réaliste en ce qui concerne l'échantillonnage et la distribution des tests aux diverses stations. Le choix des descendances serait donc relativement simple et fondé en grande partie sur les effets principaux, c.-à-d. les meilleures descendances dans toute la série de tests, si les tendances actuelles se maintiennent. Les tests de descendances sur Pinus patula ont donné des résultats similaires, indiquant des interactions pour seulement quelques traits et peu de changements de rang, mais l'auteur a indiqué en conclusion que les stations pourraient être mieux choisies à l'avenir (Barnes 1973).

Croisements entre variétés et populations introgressées. C'est un groupe qui est plus tamponné que le précédent. Cela est corroboré par les résultats du tableau 2, puisque ni les provenances de Picea rubens renfermant des populations introgressées (Morgenstern 1969, Roche 1969), ni les croisements entre variétés de Pinus monticola (Rehfeldt et Steinhoff 1970) ne subissent d'interactions importantes.

Provenances. Les provenances offrent ordinairement une grande variabilité du fait qu'elles originent de nombreux arbres et pourraient donc être relativement

stables d'une station à l'autre, i.e. présentant peu d'interactions. Cependant, lorsque les tests de provenances ont une large distribution, les interactions sont abondantes. Morgenstern et Teich (1969) ont démontré que chez Pinus banksiana, la régression de la hauteur totale en fonction de la latitude d'origine des semences avait une direction contraire pour les stations d'essai les plus au nord et les plus au sud, le coefficient de régression étant positif pour le nord et négatif pour le sud. Les analyses de stabilité ont indiqué que les provenances de l'extrême-nord et de l'extrême-sud contribuaient le plus à la variance d'interaction. Giertych (1976) a fait état d'une situation similaire dans le cas de Picea abies. L'adaptation étroite des espèces nordiques aux photopériodes et régimes de température de leur milieu d'origine constitue une explication partielle. Même chez les espèces du sud (Pinus taeda et Pinus echinata), où les gradients climatiques ne sont pas aussi prononcés, une réaction similaire a été observée (Wells 1969). Avec des stations formant des gradients d'altitude, une telle inversion de la position des sources a été mise en évidence chez Picea abies (Lacaze 1970), mais non chez Quercus rubra (McGee 1974). Des expériences sur Larix leptolepis ont indiqué des interactions importantes, mais l'interprétation était difficile. On a émis l'hypothèse que l'écart écologique important entre les régions d'origine et les stations d'essai mettait en jeu une grande variabilité nouvelle (Hattemer 1969). Toutefois, même s'il y a des interactions significatives, il est possible de trouver et de choisir des provenances à rendement élevé et suffisamment stables, comme l'a démontré Nienstaedt (1969) avec Picea glauca.

Réaction au traitement sylvicole: Espacement

Mathieu (1967) a examiné les effets de deux espacements (0,3 x 0,3 m et 1,0 x 1,0 m) de diverses provenances sur Pinus sylvestris en employant comme critères la survie, la hauteur, le diamètre, la forme de la tige et la ramification. Les traitements ont été effectués à une seule station mais avec répétition. En ce qui concerne les interactions provenance-espacement, seulement celles concernant la survie étaient statistiquement significatives. Dans une expérience en pépinière sur Pseudotsuga menziesii, Campbell et Wilson (1973) ont trouvé que les interactions descendance-espacement pour la hauteur et le diamètre n'étaient pas significatives après la transformation des données en vue d'obtenir une distribution normale.

Les expériences en génétique forestière où l'espacement est un facteur étudié semblent rares, même si les effets de l'espacement sur la croissance ont été bien étudiés du point de vue sylvicole (Burgan 1971, Low et van Tol 1974). L'espacement et la concurrence peuvent avoir des conséquences importantes, et il est nécessaire de les étudier plus à fond (Adams et al. 1973, Stern et Roche 1974).

CONCLUSIONS

Les interactions entre les arbres et l'environnement sont fréquentes pour de nombreux traits, mais des comparaisons globales de leur influence sur divers traits au moyen de critères quantitatifs stricts tels que la signification des valeurs de F ou l'importance des éléments de la variance sont possibles jusqu'à un degré très limité seulement. Une valeur significative indique simplement que les interactions ont été estimées avec précision et pas nécessairement qu'elles sont importantes. Les importances relatives des composantes la de variance dus à l'interaction et aux effets génétiques renseignent davantage (Squillace 1970), mais cela a aussi ses limites. Souvent, les conditions d'échantillonnage et d'essai ne sont pas comparables.

D'après les résultats précédents, il est possible d'énumérer un certain nombre de facteurs sur lesquels reposent de nombreuses interactions:

a) Les différences climatiques entre le premier environnement (parental) et le nouveau (descendance = expérimental). Ces différences intéressent la photo- et thermopériode (longueur de la

saison de croissance) et s'expriment par une variation dans la survie, le rythme de croissance et la vulnérabilité envers les insectes et les maladies aux extrémités du spectre d'environnements dans lesquels s'effectue une série de tests (Hattemer 1965, Morgenstern et Teich 1969, Eiche et Andersson 1974, Mergen et al. 1974). L'étude d'Hattemer de 1969 traite également de ce sujet mais constitue un cas spécial.

b) Les différences pédologiques entre l'environnement premier et le nouveau. Les génotypes ou sources sont spécifiques en ce qui concerne la station et ne peuvent donc pas tolérer certaines conditions nutritives (carences) ou sont moins vigoureux que dans leur habitat original (Burdon 1971, Teich et Holst 1974).

c) Les différences de tampon génétique des populations testées. Certains génotypes ou certaines provenances semblent adaptés à une vaste gamme de stations (génotypes stables) tandis que d'autres sont adaptés à des conditions environnementales plus particulieres. En général, l'action tampon augmente dans l'ordre suivant: génotypes (ou clones), descendances, croisements entre variétés, et provenances (Nienstaedt 1969, Roche 1969, Pederick 1972, Randall 1973, Yeatman 1974).

Il doit exister en outre d'autres facteurs qui n'ont pas encore été reconnus. Pour de nombreuses espèces, ce n'est que récemment que des expériences ont été établies, et les résultats ne sont pas encore disponibles. Les avantages des expériences factorielles pour l'analyse de l'interaction génotype-environnement ont été soulignés (Burley et Kemp 1973) et devraient être reconnus partout. En général, il semble évident que les généticiens n'ont pas accordé une attention suffisante aux différents environnements, et il est probable que de nombreuses interactions pourront être interprétées lorsqu'on en tiendra compte.

RÉFÉRENCES

Adams, W.T.; Roberds, J.H.; Zobel, B.J. 1973. Intergenotypic interactions among families of loblolly pine (Pinus taeda L.). Theoret. Appl. Genet. 43:319-322.

Allard, R.W. 1964. Relationship between genetic diversity and consistency of performance in different environments. Crop Sci. 1:127-133.

Baker, R.J. 1969. Genotype-environment interactions in yield of wheat. Can. J. Plant Sci. 49:743-751.

Barnes, R.D. 1973. The genetic improvement of Pinus patula Schiede & Deppe in Rhodesia. Ph.D. Dissertation, Univ. London. 322 p.

Brown, J.H. 1969. Effect of root pruning and provenance on shoot and root growth of Scotch pine seedlings. West Virginia Univ. Agric. Exp. Sta. Bull. 584T. 16 p.

Burdon, R.D. 1971. Clonal repeatabilities and clone-site interactions in Pinus radiata. Silvae Genet. 20:33-39.

Burgan, R.E. 1971. A spacing trial in tropical ash ... an interim report. USDA Forest Serv. Res. Note PSW-226. 3 p.

Burley, J.; Kemp, R.H. 1972. International tropical provenance trials and genotype environment interaction. In IUFRO Genetics-SABRAO Joint Symposia, Tokyo, p. B-2(I), 1-11.

Burley, J.; Kemp, R.H. 1973. Centralized planning and international cooperation in the introduction and improvement of tropical tree species. Commonwealth For. Rev. 52:335-343.

Burley, J.; Nikles, D.G. eds. 1972. Selection and breeding to improve some tropical conifers. Vol. 1. Publ. jointly by Commonwealth Forestry Institute, Oxford, England and Dept. of Forestry,

Queensland, Australia. 417 p.

Campbell, R.K. 1974. A provenance - transfer model for boreal regions. Medd. Norsk Inst. Skogforskning. 31: 542-566.

Campbell, R.K.; Wilson, B.C. 1973. Spacing-genotype interaction in Douglas-fir. Silvae Genet. 22:15-20.

Dhir, N.K. 1975. Stand, family, and site effects in Upper Ottawa Valley white spruce. In USDA Forest Serv. Gen. Tech. Rep. NC-26. p. 88-97.

Dudley, J.W.; Moll, R.H. 1969. Interpretation and use of heritability and genetic variances in plant breeding. Crop Sci. 9:257-262.

Eberhart, S.A.; Russell, W.A. 1966. Stability parameters for comparing varieties. Crop Sci. 6:36-40.

Eiche, V.; Andersson, E. 1974. Survival and growth in Scots pine (Pinus sylvestris L.) provenance experiments in northern Sweden. Theoret. Appl. Genetics 44:49-57.

Fejer, S.O. 1967. Growth and phenotypic stability under controlled environments in inbred and outcrossed Lolium populations and individual plants. Z. Pflanzenzuchtg. 58:151-196.

Fisher, R.A. 1951. The design of experiments. 6th ed. Hafner Publ. Co., New York. 244 p.

Freeman, G.H. 1973. Statistical methods for the analysis of genotype-environment interactions. Heredity 31:339-354.

Gansel, C.R.; Brendemuehl, R.H.; Jones, E.P.; McMinn, J.W. 1971. Seed source effects in 5- and 10-year-old test plantings of slash pine in Georgia and Florida. Forest Sci. 17:23-30.

Giertych, M. 1976. Summary results of the IUFRO 1938 Norway spruce (Picea abies (L.) Karst.) provenance experiment. Height growth. Silvae Genet. 25:154-164.

Hattemer, H.H. 1965. Das Verhalten einiger Kiefern-Herkunfte gegenuber der Schutte. Allg. Forst - u. Jagdztg. 136:242-248.

Hattemer, H.H. 1969. Versuche zur geographischen Variation bei der Japanischen Larche. Silvae Genet. 18:1-23.

Hattemer, H.H.; Hinkelmann, K.; Maschning, E. 1964. Erste Ergebnisse einer Feldversuchsserie mit Schwarzpappelhybriden. Zuchter 34:257-260.

Kemp, R.H. 1973. International provenance research on Central American pines. Commonwealth For. Rev. 52:55-66.

King, J.P. 1965a. Seed source x environment interactions in Scotch pine. I. Height growth. Silvae Genet. 14: 105-115.

King, J.P. 1965b. Seed source x environment interactions in Scotch pine. II. Needle length and color. Silvae Genet. 14:141-148.

King, J.P. 1966. Ten-year height growth variation in Lake States jack pine. In USDA Forest Serv. Res. Paper NC-6. p. 84-88.

King, J.P. 1971. Pest susceptibility variation in Lake States jack pine seed sources. USDA Forest Serv. Res. Paper NC-53. 10 p.

Kraus, J.F. 1970. Progeny x planting location interactions in five-year-old slash and loblolly pine tests in Georgia. In First North American Forest Biology Workshop, Michigan State Univ., East Lansing, Mich. Abstract, 2 p. + tables.

Lacaze, J.F. 1970. Analyse d'une experience multi-stationnelle de provenances d'epicea (Picea abies Karst.) Ann. Sci. forest. 27:5-37.

Lechner, F.; Holzer, K.; Tranquillini, W. 1977. Uber Austrieb and Zuwachs von Fichtenklonen in verschiedener Seehohe. Silvae Genet. 26:33-41.

Lindgren, D.; Krutzsch, P.; Twetman, J.; Kiellander, C.L. 1976. Survival and early growth of Pinus contorta provenances in northern Sweden. Dep. Forest Genetics Res. Notes No. 20. 42 p.

Low, A.J.; van Tol, G. 1974. Initial spacing in relation to stand establishment. In IUFRO Symp. Stand Establishment Proc. Wageningen, Netherlands, 1974. p. 296-319.

Matheson, A.C. 1974. Genotype-environment interactions, and regions for breeding. In Research Working Group No. 1 of the Australian For. Council. Fourth Meetg., Melbourne, 1974. p. 27-28.

Mathieu, J.H. 1967. Einfluss von Pflanzenverband und Herkunft auf das Wachstum der Kiefer im Versuch Bremervorde. Dissertation, Univ. Gottingen. 119 p.

McGee, C.E. 1974. Elevation of seed sources and planting sites affects phenology and development of red oak seedlings. Forest Sci. 20:160-164.

Mergen, F.; Burley, J.; Furnival, G.M. 1974. Provenance-temperature interaction in four conifer species. Silvae Genet. 23:200-210.

Mergen, F.; Worrall, J.; Furnival, G.M. 1967. Genotype-environment interactions in 50 sources of jack pine seedlings. Papers XIV IUFRO Kongr. Munchen 1967. Vol. III, p. 459-466.

Mohn, C.A.; Randall, W.K. 1973. Interaction of cottonwood clones with site and planting year. Can. J. For. Res. 3:329-332.

Morgenstern, E.K. 1969. Survival and height growth of red spruce provenances in three experiments in Ontario. In Proc. Eleventh Meetg. Comm. Forest Tree Breedg. in Canada, Pt. 2. p. 205-211.

Morgenstern, E.K. 1972. Progeny tests of black spruce (Picea mariana (Mill.) B.S.P.) in boreal environments. In Proc. IUFRO Working Party on Progeny Testing Meetg. Macon, Georgia, 1972. p. 48-55.

Morgenstern, E.K. 1973. Heritability and genetic gain for height growth in a nursery experiment with black spruce. Environ. Can., Can. For. Serv. Inf. Rep. PS-X-44. 10 p.

Morgenstern, E.K. 1974. Selection of black spruce progenies for the genetic improvement of height growth. For. Chron. 50:160-162.

Morgenstern, E.K. 1976. The seed source - environment interaction: a factor in nursery management. For. Chron. 52:199-204.

Morgenstern, E.K.; Teich, A.H. 1969. Phenotypic stability of height growth of jack pine provenances. Can. J. Genet. Cytol. 11:110-117.

Nienstaedt, H. 1969. White spruce seed source variation and adaptation to 14 planting sites in northeastern United States and Canada. Proc. Eleventh Meetg. Committee For. Tree Breedg. Canada, Part 2, p. 183-194.

Pederick, L.A. 1972. Genotype-environment interactions calculated for height growth of young radiata pine families at three locations. In Appendix 18, Meetg. of Australian Forest Research Working Group No. 1, Mt. Gambier, South Australia 1972. 10 p.

Randall, W.K. 1973. Mississippi cottonwood clones outperform local clones near Cairo, Illinois. USDA Forest Serv. Res. Note SO-164. 3 p.

Rehfeldt, G.E. 1977. Growth and cold hardiness of intervarietal hybrids of

Douglas-fir. Theoret. Appl. Genet. 50:3-15.

Rehfeldt, G.E.; Steinhoff, R.J. 1970. Height growth in western white pine progenies. USDA Forest Serv. Res. Note INT-123. 4 p.

Rink, C.; Thor, E. 1976. Variance components and gains in volume growth of Virginia pine (Pinus virginiana Mill.) Silvae Genet. 25:17-22.

Roche, L. 1969. Variation in growth behaviour of fifteen red spruce (Picea rubens Sarg.) provenances at three sites in Quebec. Environ. Can., Can. For. Serv. Inf. Rep. Q-X-15. 23 p.

Schnell, F.W. 1967. Die Methoden zur Erfassung der phanotypischen Stabilitat von Zuchtsorten. In Rundschr. 1/1967 Arbeitsgem. Biometrie, DLG-Pflanzenzuchtabt., p. 18-21.

Shelbourne, C.J.A. 1972. Genotype-environment interaction: its study and its implications in forest tree improvement. In IUFRO Genetics-SABRAO Joint Symposia, Tokyo. 27 p.

Shelbourne, C.J.A.; Campbell, R.K. 1976. The impact of genotype-environment interaction on tree improvement strategy. In Proc. IUFRO Joint Meetg. of Genetic Working Parties on Advanced Generation Breeding, Bordeaux, 1976. p. 73-96.

Snow, G.A.; Dinus, R.J.; Kais, A.G. 1975. Variation in pathogenicity of diverse sources of Cronartium fusiforme on selected slash pine families. Phytopathology 65:170-175.

Steel, R.G.D.; Torrie, J.H. 1960. Principles and procedures of statistics. McGraw-Hill Book Co., New York. 481 p.

Stern, K. 1967. Design, layout and analysis of provenance experiments. In Papers XIV IUFRO Congr., Munchen, 1967. Vol. III. p. 685-697.

Stern, K.; Roche, L. 1974. Genetics of forest ecosystems. Springer-Verlag, New York. 330 p.

Squillace, A.E. 1970. Genotype-environment interactions in forest trees. In Papers, Second Meetg. Working Group on Quantitative Genetics, IUFRO, Raleigh, N.C. 1969. p. 49-61.

Teich, A.H.; Holst, M.J. 1974. White spruce limestone ecotypes. For. Chron. 50:110-111.

Thomasius, H. 1967. Uber die Notwendigkeit und Aussagefahigkeit forstwissenschaftlicher Experimente mit ortsfesten Varianten. Arch. Forstwes. 16:911-916.

Utz, H.F. 1972. Die Zerlegung der Genotyp x Umwelt-Interaktionen. EDV in Medizin und Biologie 3(2):52-59.

Weiling, F. 1973. Zur Bestimmung der Leistungstabilitat von Pflanzentypen nach den Verfahren von Wricke, Finlay, Eberhart u.a. Zugleich ein Beitrag zum Wesen sowie zur Analyse von Wechselwirkungen. EDV in Medizin und Biologie 4(3):88-98.

Weissgerber, H. 1974. First results of progeny tests with Alnus glutinosa (L.) Gaertn. after controlled pollination. In Proc. Joint IUFRO Meetg. S.02.04.1-3 Stockholm, 1974, Session VI. p. 423-438.

Wells, O.O. 1969. Results of the southwide pine seed source study through 1968-69. In Proc. Tenth South. Conf. For. Tree Improv. p. 117-129.

Wilcox, M.D.; Miller, J.T. 1975. Pinus nigra provenance variation and selection in New Zealand. Silvae Genet. 24:132-140.

Wricke, G. 1965. Die Erfassung der Wechselwirkung zwischen Genotyp und Umwelt bei quantitativen Eigenschaften. Z. Pflanzenzuchtg. 53:266-343.

Wright, J.W. 1973. Genotype-environment interaction in North Central United States. Forest Sci. 19:113-123.

Wright, J.W. 1976. Progeny testing in practical tree improvement. In Proc. Fifteenth Meetg. Can. Tree Improv. Ass. (1975). p. 32-41.

Yeatman, C.W. 1966. Geographic variation in jack pine (Pinus banksiana Lamb.) seedlings. Ph.D Dissertation, Yale Univ. 231 p.

Yeatman, C.W. 1974. A progeny test of Ottawa Valley jack pine - 6-year results. In Proc. Ninth Central States For. Tree Improv. Conf. p. 71-84.

Zobel, B.; Roberds, J.H. 1970. Differential genetic response to fertilizers within tree species. In First North Am. Forest Biol. Wkshop., Michigan State Univ., East Lansing, Mich. Abstract, 2 p.